

Utilización de los concretos de alta resistencia y concretos celulares en la industria de la construcción ecuatoriana, clasificados por sectores: vivienda, electricidad, gas/petróleo, salud y educación

Cabrera, María Inés¹

¹ Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática. Posgrado, Quito, Ecuador¹
e-mail: micabrera@edesa.com.ec

Información del artículo

Recibido: Junio 2015 — Aceptado: Agosto 2015

Resumen

En esta investigación se analizan las características de los concretos convencionales y de los especiales, principalmente los celulares y de alta resistencia, motivo de la investigación. Se valoran las formas de obtención y sus usos, así como las posibilidades de utilización en sectores estratégicos del Ecuador, tales como: salud, educación, vivienda, gas/petróleo y electricidad, a partir de sus principales propiedades mecánicas.

Se comprobaron las excelentes propiedades de los concretos especiales (alta resistencia y celulares) estudiados y se demuestran las posibilidades de utilización de los celulares en los sectores de salud, educación y vivienda, donde las instalaciones requieren propiedades mecánicas menos rigurosas que para los sectores de electricidad y gas/petróleo, que exigen en sus instalaciones el uso de concretos de alta resistencia, con valores de resistencia a la compresión mayores a 700 kg/cm².

Palabras clave: concretos, convencionales, celulares, alta resistencia.

Abstract

In this paper the characteristics of conventional concrete and the specials concretes, mainly cellular and high strength are analyzed. The forms of production and their uses are valued, as well as the usability in Ecuador on strategic sectors such as health, education, housing, gas / oil and electricity, from its main mechanical properties.

The excellent properties of the studied special concrete (cellular and high strength) were tested and the potential use of cellular concrete in the sectors of health, education and housing, where installations require less demanding mechanical properties than the electricity and gas / oil sectors, which requires in their facilities the use of high-strength concrete, with values of compressive strength greater than 700 kg/cm².

Keywords: Concrete, conventional, cellular, high-strength.

Introducción

El concreto es uno de los materiales más utilizados en la construcción, donde su variedad de densidad o peso volumétrico es bastante variable, con predominio de los concretos convencionales, que poseen alrededor de 210 kg/cm². Sin embargo, los altos pesos de los concretos limitan su uso práctico, sobre todo en la construcción de losas de entrepiso y azoteas, “ya que estas están diseñadas para soportar las cargas vivas (personas y mobiliario), las cuales se transmiten a las trabes, columnas y finalmente a la cimentación y al terreno” [1, p. 141].

La intensidad de la transformación de la materia prima, en la que se emplea grandes cantidades de agua y energía, tiene como objetivo fabricar productos de calidad, que se adecuen a las exigencias establecidas en las normativas, y que sean durables [2], es decir, que no se deterioren por la acción de fenómenos naturales, ambientales, o por el propio desgaste asociado a su uso sistemático.

El mercado mundial de cemento está en constante expansión, incluyendo al Ecuador, por tanto, para mejorar los niveles de desarrollo de nuestro país es importante avanzar en la aplicación de nuevos materiales de construcción, principalmente en las variedades de concretos, que respondan a las necesidades de las obras de infraestructura que se acometen actualmente.

En Ecuador no existe experiencia en el uso de concretos especiales, en sectores como educación, salud ni vivienda; mientras que los concretos de alta resistencia y celulares se han empleado con mayor frecuencia en obras hidroeléctricas, como los proyectos Coca Codo Sinclair y Toachi Pilatón, y en menor medida en las instalaciones del sector gas/petróleo, lo cual está relacionado, además, con la disminución de los precios del petróleo, que ha generado un significativo decaimiento de las inversiones en esta área de la economía ecuatoriana.

Partiendo de estos elementos, surge la necesidad de potenciar la utilización de concretos especiales, celulares y de alta resistencia, en sectores estratégicos como: vivienda, electricidad, gas/petróleo, salud y educación en Ecuador.

Marco teórico

El concreto es uno de los materiales más utilizados en la construcción, donde su variedad de densidad o peso volumétrico es bastante variable, con predominio de “los concretos convencionales, que poseen alrededor de 2.350 kg/m³” [3, p. 141]. Sin embargo los altos pesos de los concretos limitan su uso práctico, sobre todo en la construcción de losas de entrepiso y azoteas, “ya que estas están diseñadas para soportar las cargas vivas (personas y mobiliario), las cuales se transmiten a las trabes, columnas y finalmente a la cimentación y al terreno” [4, p. 141].

Cemento

El cemento es la materia prima principal para la confección de concretos, y su base de fabricación durante miles de años ha estado conformada por “una mezcla de calizas y arcillas dosificadas en proporciones convenidas y molidas conjuntamente” [5, p. 2], para luego ser sometida a un “proceso de calcinación a una temperatura aproximada de 1.400°C, dentro de un horno rotatorio, lo que provoca la fusión parcial del material hasta la formación del producto, llamado clinker” [6, p. 16].

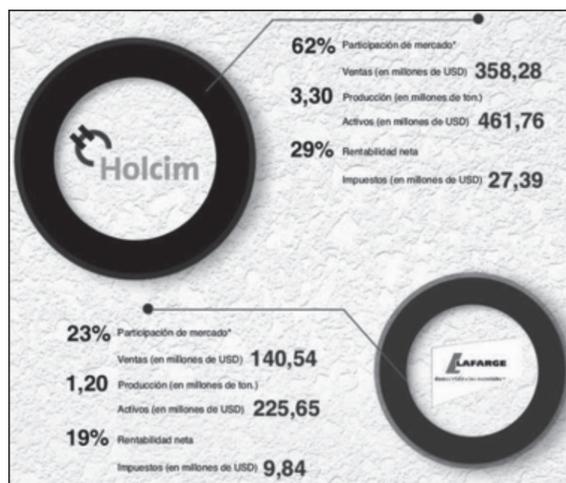


Figura 1. Empresas cementeras privadas de Ecuador.

Fuente: Ekos negocios

En Ecuador constituye la principal materia prima para la construcción, “una actividad que en los últimos cinco años se ha caracterizado por un crecimiento constante, 5,9% promedio” [7, p. 23].

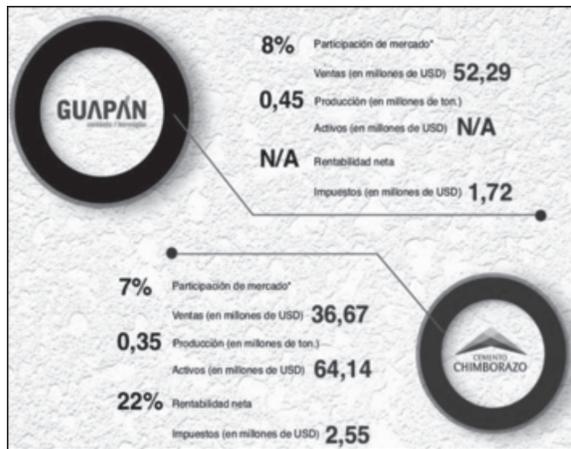


Figura 2. Principales empresas públicas cementeras de Ecuador.

Fuente: Ekos negocios

La industria del cemento es una de las de mayor influencia en el desarrollo inmobiliario del país, como resultado de la canalización de recursos para financiar, principalmente, obras públicas y de vialidad, consideradas como uno de los mayores logros del gobierno. En este resultado han intervenido de forma significativa, las principales empresas cementeras del Ecuador, lideradas por las multinacionales privadas Holcim y Lafarge, con el 85% de participación en el mercado, como se aprecia en la figura 1.

Mientras que las cementeras públicas, Chimborazo y Guapán, tienen una participación promedio del 15%, en el mercado nacional, como se muestra en la figura 2.

El concreto

El concreto es una “mezcla de cemento, con otros agregados gruesos y finos, con agua” [8, p. 4]. Su historia está asociada a la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección deseada por el hombre. Su utilización está vinculada con la aplicación de mayores esfuerzos en las edificaciones, satisfaciendo las necesidades de vivienda y erigiendo construcciones con elevados requerimientos específicos.

Esencialmente es una mezcla de cemento, arena, gravilla, agua y aditivos, capaces de endu-

recerse con el tiempo, adquiriendo características que lo hacen de uso común en la construcción [9, p. 9]. En estado fresco posee suficiente tiempo de manejabilidad y excelente coercividad en estado endurecido.

El uso del concreto en la construcción se ha incrementado, por su alta versatilidad, al adoptar diversas formas mediante el empleo adecuado de diferentes materiales, metálicos y no metálicos. Adaptándose a proyectos de distinta índole, desde una simple vivienda hasta la ejecución de estructuras de gran altura o proyectadas para soportar grandes cargas, debido a su alto peso volumétrico y a la necesidad de utilizar mezclas científicamente diseñadas para obtener concretos de alta resistencia.

Como resultado del gran desarrollo constructivo, en Ecuador existen diferentes empresas especializadas en la conformación de concretos, entre las cuales sobresalen las siguientes hormigoneras: Equinoccial, Quito, Holcim, Hormiconcretos, Del valle, Hormigoneira Concret, De los Andes, entre otras.

Tecnologías del concreto

Múltiples investigaciones se han realizado, en los últimos años, con vistas a lograr concretos con valores de densidades acordes con las exigencias de las acciones constructivas, “que fluctúan como promedio entre 200 y 1.920 kg/m³, adecuados para rellenos de objetos de obra menos exigentes como pisos, muros, losas, etcétera” [4, p. 141]. Por otra parte, también se han desarrollado otros tipos de concretos, como los reforzados con fibras y los de alta resistencia, que contribuyen a controlar las grietas características del concreto, y aumentar la resistencia a la tensión y a la compresión; igualmente están los “concretos de altas resistencias estructurales empleados en prefabricados o colados en sitio; así como los concretos de altas resistencias permeables, que permiten el paso del agua al subsuelo, entre otros” [10, p. 10].

Las principales investigaciones realizadas a través de miles de años, “partieron de una mezcla de caliza dura, molida y calcinada con arcilla, que al agregársele agua, producía una pasta calcinada, que era molida y agitada hasta producir un polvo fino que es el antecedente directo del actual cemento Portland y el concreto” [4, p. 142]. A partir de estos elementos constructivos el desarrollo de los materiales de construcción se ha mantenido aparejado al avance tecnológico de la sociedad mundial.

En Ecuador el consumo de concretos ha estado muy relacionado con la producción de cemento. Así, la producción a partir del año 2012 ha superado los 6,0 millones de toneladas anuales, con una comercialización mensual promedio superior a las 550.000 toneladas [11]. Este incremento sostenido tiene relación con las obras constructivas ejecutadas en el país, en los últimos diez años, que ha demandado un gran consumo de concretos de calidad, que normalmente “son preparados según las características de las normas que cada proyecto demande” [12, p. 4].

Concretos convencionales

Los concretos convencionales son una mezcla de cemento, arena, gravilla, agua y aditivos, que “poseen la cualidad de endurecer con el tiempo, adquiriendo características que lo hacen de uso común en la construcción. En estado fresco posee suficiente tiempo de manejabilidad, y excelente cohesividad en estado endurecido” [13], considerando que la calidad durante su elaboración, “se desarrolla en un ambiente rigurosamente controlado, sin embargo, en las hormigoneras, esto no puede darse” [14, p. 311].

De forma general los concretos convencionales se caracterizan por presentar propiedades con valores promedio resumidos en “densidad entre 2.200 y 2.500 kg/m³, resistencia a la compresión entre 100-500 kg/cm², tiempos de fraguado variable, de alrededor de 2,5 horas promedio, resistencia a la tracción relativamente baja, generalmente despreciable en el cálculo global de la construcción” [4, p. 142].

En resumen, los concretos convencionales, poseen importantes propiedades superficiales (adhesivas y cohesivas) que permiten unir diferentes tipos de minerales en el interior de masa o mezcla, “que involucra a gran cantidad de materiales utilizados en la industria del cemento en el mundo” [15, p. 34].

Composición química

La mezcla que habitualmente se realiza con cemento y agua forma un conglomerado cementante, donde se generan diferentes reacciones químicas, entre ellas el proceso de hidratación del cemento. “Estas reacciones se manifiestan primeramente por la rigidización paulatina de la mezcla, que culmina con su fraguado, seguido del endurecimiento y adquisición de resistencia mecánica en el producto” [16, p. 34].

Aun cuando la hidratación del cemento es un fenómeno sumamente complejo, existen simplificaciones que permiten interpretar sus efectos en el concreto. Es por ello que “la composición química de un clinker Portland se define mediante la identificación de cuatro compuestos principales, cuyas variaciones relativas determinan los diferentes tipos de cemento Portland” [17]. De forma general los principales compuestos del cemento, son los siguientes:

Silicato tricálcico ($3\text{CaO SiO}_2 \cdot \text{C}_3\text{S}$)
 Silicato dicálcico ($2\text{CaO SiO}_2 \cdot \text{C}_2\text{S}$)
 Aluminato tricálcico ($3\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{C}_3\text{A}$)
 Aluminoferrito tetracálcico ($4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{C}_4\text{AF}$)

Como puede observarse, “la cal es uno de los componentes principales del cemento y actualmente sigue empleándose profusamente en la confección de los cementos a nivel mundial” [18, p. 3]. Sus características físico-químicas le atribuyen particularidades insustituibles a la conformación del cemento y los concretos, tanto convencionales como especiales.

Principales propiedades del concreto convencional

Los diferentes tipos de concretos que existen en el mundo, poseen variadas propiedades físico-mecánicas que definen los usos industriales que estos tendrán en las distintas construcciones que a diario se ejecutan.

Densidad

Esta es una de las principales propiedades de los concretos, la misma ha sido un problema cotidiano en el uso del concreto en la construcción, donde la carga muerta es un factor importante y el concreto de peso normal es muy pesado para ser utilizado de forma práctica, principalmente, en la construcción de losas de entrepiso y azoteas, “ya que están diseñadas para soportar cargas vivas, o sea personas y mobiliarios, que repercute en construcciones pesadas, vigas de gran peralte, columnas robustas y cimentaciones amplias o complejas, lo cual se traduce en un elevado costo de la obra” [4, p. 142].

Las losas de entrepiso se realizaban por medio de vigas y tablas de madera con muy bajo peso y apropiadas para esfuerzos de flexión, compresión

y cortante. Así, en muchos países de Europa y en Estados Unidos se usa con frecuencia la madera para la construcción de casas, a pesar de que la combustión y fácil propagación de fuego de la misma, constituyen un problema latente.

Resistencia a la compresión

Esta propiedad se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en megapascuales (MPa). Generalmente “los requerimientos para concretos convencionales pueden variar entre 17 MPa y 28 MPa, para estructuras comerciales, mientras que para determinadas aplicaciones se especifican resistencias superiores hasta de 170 MPa y más” [19, p. 6]. Sin embargo, los llamados concretos especiales, poseen valores muy superiores, como analizaremos más adelante.

Para determinar la resistencia del concreto *in situ*, normalmente se utiliza la norma ASTM C31 [20], que formula procedimientos para las pruebas de curado en campo. Mientras que a través de la ASTM C39, se emplea el “método estándar de prueba de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto” [21].

Incluso se ha determinado “la relación entre la resistencia a la compresión del concreto y la velocidad de los pulsos de ultrasonido” [22, p. 4], fundamentalmente para la verificación de la calidad del concreto, utilizado en obras, más no “para tomar decisiones estructurales de importancia en el proceso constructivo de una estructura [23, p. 6].

Por su parte, el “control de la calidad de la resistencia del concreto se realiza de forma sistemática, durante el proceso constructivo, tanto en la obra en ejecución, como en los laboratorios” [24, p. 9], lo que constituye una de las principales propiedades que impactan en la calidad de las edificaciones.

Tiempo de fraguado

Es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del concreto (o mortero de cemento), producido por la desecación y recristalización de los hidróxidos metálicos, procedentes de la reacción química del agua de amasado, con los óxidos metálicos presentes en el clinker que compone el cemento [25, p. 10]. En otras palabras, es la “condición alcanzada por un producto hormigonado que ha perdido plasticidad hasta un nivel arbitrario, o sea, se refiere a una

rigidez significativa o deformación remanente luego de retirada la tensión” [26].

El tiempo de fraguado ocurre a través de las reacciones químicas entre el cemento y el agua, que evidentemente generan calor y dan origen a nuevos compuestos, “provocando el endurecimiento y aglutinación de la mezcla de concreto, adquiriendo cierta resistencia, proceso de suma importancia ya que permite alcanzar el acabado del concreto, normalmente este proceso ocurre entre dos y cuatro horas después del hormigonado” [25, p. 12].

Resistencia a la tracción

Es una forma de comportamiento de “gran significado para el diseño y control de calidad en todo tipo de obras y en especial en las estructuras hidráulicas y de pavimentación” [27, p. 57]. Sin embargo, esta propiedad mantiene su hegemonía como indicador de la calidad, principalmente, por el largo tiempo de aplicación que ha permitido acumular importantes experiencias constructivas.

Usos

El concreto convencional tiene una amplia utilización en las estructuras de concreto más comunes, fundamentalmente, para cimentaciones, columnas, placas macizas y aligeradas, muros de contención, entre otros usos.

Por los diseños constructivos de los locales destinados a educación, salud y vivienda, donde las “alturas y estructuras de las edificaciones deben cumplir determinadas normas, para los espacios interiores y exteriores, con pequeñas alturas”, que no exigen de concretos especiales [28, p. 125], es evidente el uso en estos sectores de los concretos convencionales, donde incluso la “altura en las edificaciones multifamiliares de cinco pisos no excede de 12 metros, promedio” [29, p. 47].

En la actualidad este es el concreto más utilizado, sin embargo, el mundo del concreto nos presenta otros como son los concretos celulares, y de altas resistencias estructurales. A pesar de la demostración práctica de estos productos en el ámbito profesional de la industria de la construcción en Ecuador, aún no está implementado su uso de forma generalizada. Es por ello que este estudio tiene como objetivo, evaluar y propiciar el conocimiento y divulgación de los resultados del uso de estos productos en ramas estratégicas.

Concretos especiales

A continuación, se analizan las principales características de los concretos u hormigones especiales, que constituyen el objeto de estudio de esta investigación, utilizados con mayor frecuencia, por sus excelentes propiedades físico-mecánicas, en las construcciones de obras de sectores importantes como la electricidad, gas/petróleo. Mientras que los concretos convencionales son mucho más empleados en la fabricación de obras para vivienda, salud y educación.

Concreto celular

En la década de los años 60, como resultado del crecimiento de la industria de la construcción, surgió la necesidad de obtener productos livianos y que sean aislantes térmicos para su uso en losas y techos. Así, “en varios países europeos como Austria y Alemania, comenzó la fabricación de un mortero de cemento liviano con la adición de espumas, lo que constituyó el inicio de los morteros celulares” [4, p. 143]. Este tipo de producto se ha ido perfeccionando y su uso se ha generalizado a nivel mundial. Han pasado varias décadas desde que se crearon los primeros productos para abaratar los costos, que han contribuido a mejorar la calidad de las edificaciones. Sin embargo, en Ecuador no ha sido posible su desarrollo, ya que hasta el momento no existe en el país, una cultura de implementación de nuevos materiales.

Composición y características

El concreto celular es un producto cementante de **alta resistencia**, consistente en cemento, arena y otros materiales silíceos, elaborado mediante un proceso físico o químico al introducirse aire o gas a la mezcla [10], formándose micro burbujas en dicha mezcla. La espuma formada se mezcla con la lechada de arena/cemento/agua, comportándose igual que el concreto denso pesado ordinario. La diferencia se establece en la cantidad de aire, la cual es importante y “puede variar de 20 a 50% cuando se utiliza estructuralmente, pero puede llegar hasta 51 a 80% en concretos colados, usados para aislamiento térmico, de empaque o relleno” [4, p. 144].

Generalmente es definido como una mezcla con estructura homogénea de silicatos de calcio en granos finos, que contiene pequeñas burbujas de aire aisladas, también es conocido como “un material de peso de Alta Resistencia que puede

ser elaborado con o sin agregados, adicionando solo un gas o una espuma que reacciona químicamente, formado por poros de aire micro y macroscópicos, uniformemente distribuidos en la pasta de cemento” [10, p. 2]. Su estructura es esencial para determinar las propiedades físicas del material, como pequeño peso, conductividad térmica, resistencia al fuego, a la compresión y a la congelación. Una ilustración de este tipo de concreto se muestra en la figura 3.

Este tipo de producto es conveniente utilizar en la construcción de viviendas de interés social, por su comportamiento durante la construcción a base de elementos prefabricados o colados en el sitio [10, p. 4].

Este material de construcción es muy liviano y está destinado principalmente a obras gruesas, ya que debido a su condición aislante, supera los requerimientos de la normativa térmica, además de ser ecológico al utilizar materias primas naturales en su proceso productivo, de muy baja contaminación, ahorra energía de forma pasiva en las construcciones. Teniendo en cuenta estos elementos técnicos, para el caso de Ecuador, es recomendable el uso de este tipo de concreto en la construcción de viviendas, escuelas e instalaciones de salud, ya que las edificaciones no son de grandes alturas y no requieren de grandes esfuerzos.

Sin embargo, a pesar de que no es tradicional su empleo en grandes construcciones, es posible utilizarlo además en las edificaciones asociadas a las ramas de electricidad, principalmente, hidroeléctricas, considerando su baja densidad y altos valores de resistencia, cumpliendo siempre con las normas de arquitectura y urbanismo, que “garanticen niveles de funcionalidad, seguridad, estabilidad e higiene en espacios urbanos y edificaciones” [29].



Figura 3. Concreto celular o aireado

La propuesta de uso en los sectores de salud, educación y vivienda, está fundamentado en que mundialmente este producto es utilizado en este tipo de esferas económicas debido a sus cualidades, muy parecidas a la madera, ya que “es un producto con resistencia y solidez, un material liviano, de precisión dimensional, rapidez de construcción, eficiencia, economía, durabilidad, resistencia al fuego, aislamiento térmico, y preocupación por el medio ambiente tanto del producto como de su proceso de fabricación” [4, p. 147].

Las principales ventajas se refieren a una mayor simpleza en la instalación constructiva, siendo un producto limpio, fácil de manejar, dúctil y capaz de ser cortado fácilmente con serrucho de mano o sierra de huincha eléctrica, adicionalmente se puede perforar, ranurar, lijar para alcanzar formas deseadas, pareciéndose así a la madera, además de simplificar las instalaciones de ductería eléctrica.

Su uso se orienta a una gama amplia e importante de aplicaciones constructivas como: “muros estructurales de albañilería armada, reforzada, tabiquería interior, molduras, cornisas exteriores, paneles de losas, paneles industriales, entre otros, y sus propiedades se traducen en ventajas constructivas, como opciones para arquitectos, constructores y empresarios, aplicados en instalaciones residenciales, comerciales e industriales” [19, p. 22]. Entre sus ventajas se encuentra su resistencia y solidez, además de que es un material liviano que reduce la carga sobre estructuras y fundiciones, lo que unido a su resistencia, se traduce en un buen comportamiento estructural ante la acción sísmica y hace que sea fácil de manipular y ensamblar. Estos atributos evidentemente reducen los costos de construcción y aumenta la productividad, debido a menores costos de transporte y almacenaje, disminución de requerimiento de mano de obra, menores costos en materiales de terminación y no requiere aislamiento térmico adicional, lo que permite su uso en los sectores de salud, vivienda y educación, donde no se exigen de importantes cargas cíclicas en las edificaciones de estas ramas económicas. Otra de las características del concreto celular es que no contiene materias combustibles y es altamente resistente al fuego, ofreciendo máxima protección contra incendios, elementos que avalan la propuesta de uso en los sectores mencionados.

Los materiales empleados para fabricar el concreto celular son básicamente los mismos que se utilizan para el concreto tradicional, excepto

los agregados de cuarzo y los agentes químicos que producen las partículas de aire.

Forma de fabricación.

Los métodos para fabricarlo son por medio de la introducción de un elemento químico que produce gas en una lechada compuesta de cemento y un material de sílice que sirve de espumante, que al endurecerse forma una estructura uniforme de poros.

Para la formación de poros se utilizan diferentes técnicas, principalmente “de gasificación interior con polvo de aluminio, que reacciona con el hidróxido de cal libre del cemento durante el fraguado y genera hidrógeno en forma de burbujas pequeñas, obteniéndose aluminato tricálcico hidratado + hidrógeno” [4, p. 147]. Por tanto es importante señalar que, la velocidad de reacción depende del tipo y de la cantidad de polvo de aluminio que se agregue a la mezcla, así como de “la finura del cemento, temperatura y proporción de los componentes” [24, pp. 2-3].

Otros reactivos utilizados son el polvo de zinc: usado para formar zincato de calcio + hidrógeno, donde el hidrógeno es reemplazado por el aire, por lo tanto, no existe ningún peligro de que ocurra fuego. Adicionalmente se utiliza agua oxigenada y polvo blanqueador, verificándose una reacción química, en la cual se desprende oxígeno en vez de hidrógeno, o sea, cloruro de calcio + oxígeno + agua [30].

Por último los “sulfonatos alkyl aryl, el sulfonato de lauryl de sodio, ciertos jabones y resinas, aditivos espumantes destinados a extinguir incendios, así como plásticos o resinas sintéticas en estado líquido viscoso” [4, p. 147], los cuales son apropiadas para la elaboración de concretos colados en el sitio de la obra.

Así se obtienen varios tipos de concretos aireados, empleando diferentes tipos de “aditivos como generador espumante, fibra dispersante, retardante, expansor, escoria, ceniza volante, etc”, que suplen las deficiencias de baja densidad del concreto celular. Entre los principales tipos de estos concretos destacan: puros, arenados, con agregados de alta resistencia, con agregados expansivos y modificados [10, p. 5].

Usos

En resumen, el concreto celular es una modificación del concreto normal y la diferencia

entre ambos está en su densidad, más que en su calidad. Es recomendable usar para “clima cálido, ya que evita la penetración del calor dentro de la vivienda; para clima frío, para propiciar la acumulación de calor interior, así como para la construcción en regiones con clima templado, semifrío, en invierno o en verano” [4, p. 146], lo que permite la adecuación de la vivienda al entorno constructivo.

Se utiliza en dos formas principales, como “pre-colado para muros, losas de entrepiso y azoteas, y bloques de construcción y colado en el sitio, principalmente, para elementos estructurales y rellenos” [4, p. 147]. Estos elementos fundamentan su uso “por más de 50 años, en la construcción de viviendas en Europa y países de América” [31].

En cualquiera de estas formas de uso, su peso varía de acuerdo con el estado en que se encuentre, ya sea plástico, fraguado o secado en horno. En todos los casos el rango de densidad varía, dependiendo de sus características, y fluctúa entre 200 y 1.900 kg/m³, aspecto que lo diferencia de los concretos convencionales, incrementando de uso en obras de gran complejidad de las industrias eléctricas y del petróleo.

En Ecuador se han desarrollado investigaciones para la obtención de un concreto celular, “con características y propiedades adecuadas para usar como base y subbase, en las vías de comunicación, conformadas con materiales pétreos” [32, p. 7], sin embargo su uso industrial aún es insuficiente, según las potencialidades de uso que tiene el país en su desarrollo actual.

Concreto de alta resistencia

Son considerados de alta resistencia los concretos con valores de esta propiedad, igual o superior a los 500 kg/cm² a los 28 días, considerados también como de alto desempeño por su trabajabilidad y durabilidad, con una alta aplicación en la esfera medioambiental [5, p. 7].

Otros autores denominan concreto de alta resistencia (CAR) a aquellos que poseen “resistencia a la compresión comprendida entre el límite superior que al respecto establecen actualmente las normas nacionales (alrededor de 60 MPa) y los 130 MPa, valor máximo que en la práctica, puede alcanzarse con agregados convencionales”



Figura 4. Construcciones realizadas con concreto de alta resistencia.

Este tipo de concreto “resuelve el problema de peso y durabilidad en edificios y estructuras, posee puntos fuertes comparables con el concreto normal, y es típicamente 25 a 35% de más alta resistencia, por lo que ofrece flexibilidad de diseño y ahorro de costos” [34, p. 2], lo que garantiza una menor carga muerta, permite mejorar la respuesta sísmica estructural, con miembros estructurales de tamaño más pequeño, menos refuerzo de acero, y menores costos de fundiciones [35, p. 4]. Los elementos prefabricados con concretos de alta resistencia han reducido los costos de transporte y colocación. Por tanto el excelente rendimiento y durabilidad de este concreto, hecho con esquistos expandidos, arcilla o pizarra agregados de alta resistencia, es un resultado de la naturaleza de cerámica del agregado, y su excepcional unión y compatibilidad elástica con una matriz cementosa, de gran uso internacional, como se muestra en la figura 4.

Este tipo de concreto posee elevada resistencia a la compresión, “con valores promedio entre 400 - 500 kg/cm² (39.2 - 49.1 MPa), y resultados de hasta 900 kg/cm², característico de los hormigones, por su dosificación, puesta en obra y curado” [36], que generalmente ofrece “mejores prestaciones referente a permeabilidad, resistencia a los sulfatos, a la reacción árido-álcalis, resistencia a la abrasión, etc.; lo cual les confiere una mayor durabilidad que el resto de los concretos” [37, p. 17].

Este tipo de concreto alcanza su mayor resistencia más temprano que un concreto normal. El período en el que tenga que obtener una resistencia especificada puede variar desde unas cuantas horas, incluso minutos, hasta varios días. Se puede lograr un concreto de alta resistencia haciendo uso de los ingredientes y de las prácticas de colocado tradicionales para el concreto, capaces de alcanzar elevados valores de resistencia, como se muestra en la figura 5.

Entre las principales ventajas de este tipo de concreto, se encuentran las siguientes: “altas resistencias iniciales y finales, trabajabilidad de las mezclas, reducción de la segregación y exudación, reducción del calor de hidratación y la tendencia a la fisuración en grandes estructuras, buen desempeño de fraguado y resistencia para la construcción de obras” [38, p. 8].

Adicionalmente posee una “resistencia química moderada al agua del mar, difusión de cloruros y ataque de sulfatos, lo que aumenta la durabilidad del concreto, significativos ahorros en el consumo de cemento por metro cúbico de concreto, rápida puesta en uso de estructuras y vías de concreto” [27, p. 11].

Formas de fabricación

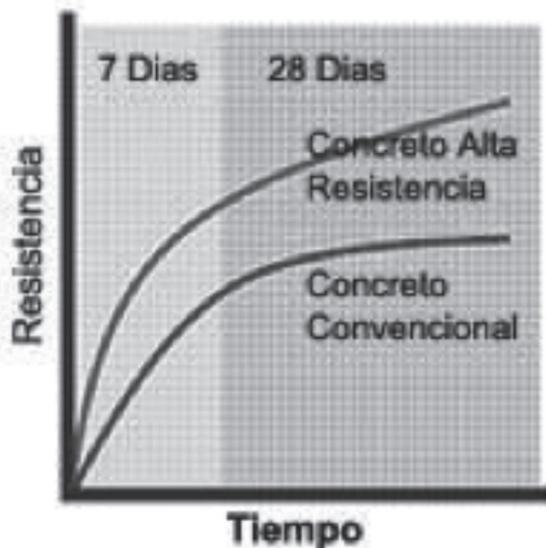


Figura 5. Resistencia a la compresión en concretos convencionales y de alta resistencia.

Estos concretos se pueden obtener por medio de algunas de las combinaciones que se muestran a continuación, “en dependencia de la edad a la cual la resistencia especificada se tenga que alcanzar y de las condiciones de la obra” [39, p. 33]:

- Uso de cemento alta resistencia, entre 356 a 593 kg/m³.
- Baja relación agua – cemento, entre 0.20 a 0.45 en peso.
- Mayor temperatura del concreto fresco.
- Mayor temperatura de curado.

- Uso de aditivos químicos.
- Curado al vapor o en autoclave.
- Uso de un aislamiento para retener el calor de hidratación.
- Uso de cementos de fraguado regulado o de otros cementos especiales.

En la actualidad no existe una metodología específica para la elaboración de concretos de alta resistencia; sin embargo, el seguimiento de algunas investigaciones ha permitido desarrollar, “procedimientos para obtener concretos en un período de tiempo relativamente corto y, sobre todo, utilizando los materiales en la forma más parecida a las condiciones y propiedades que tienen cuando se emplean en las obras” [36, p. 50]. Como resultado se ha comprobado que la técnica de mezclado de los materiales que permiten conformar este tipo de producto, incluye el uso de los materiales siguientes: caliza, agua, arena, cemento, microsilica, aditivo químico, el posterior mezclado y el control de la granulometría, que permite incrementar la resistencia a la compresión. Por tanto este tipo de concreto es factible de usarse en instalaciones exigentes de sectores priorizados en Ecuador, como electricidad, gas/petróleo, edificaciones con grandes cargas, así como de infraestructuras viales, como puentes, puertos, canales hidráulicos, entre otros.

Usos

Por las mencionadas características físico-mecánicas, el concreto de alta resistencia es utilizado para construcciones con altos niveles de exigencia, sobre todo donde se requieren altas cargas y tensiones. Su uso conlleva “la reducción de las dimensiones de las secciones constructivas, lo que permite significativos ahorros de cargas muertas, lo que repercute técnica y económicamente en la viabilidad de las instalaciones fabricadas, con el uso de este tipo de concreto” [36, p. 54].

Además, tiene “un módulo de elasticidad más alto que el normal, lo que reduce las pérdidas de la fuerza pretensora, debido al acortamiento elástico del concreto, está menos expuesto a las grietas por contracción, que aparecen con frecuencia en los concretos convencionales [36, p. 55]. Todo lo cual “minimiza su costo, ofrece mayor resistencia a la tensión cortante, a la adherencia y al empuje y es muy deseable para el montaje de cualquier tipo de estructura” [38, p. 4]. Por tanto se utiliza cuando se requieren resistencias superiores a los

28 días, requisito muy demandado en instalaciones gasopetrolíferas, hidroeléctricas y demás infraestructuras de gran peso y cargas cíclicas.

Mundialmente son reconocidos los usos del concreto de alta resistencia como “elementos prefabricados de concreto, hormigones pretensados, hormigones postensados, hormigones que requieran desmolde anticipado y hormigones en los que se requiere una alta durabilidad” [40, p. 66].

Entre las principales ventajas del uso de este tipo de concreto [41, p. 8] se tienen las siguientes:

- Mayor rotación y menor tiempo de uso del encofrado.
- Se pueden diseñar menos secciones estructurales, con el consiguiente ahorro de áreas de construcción.
- Mayor rendimiento en la ejecución de las obras.
- Disminución de los esfuerzos de diseño.
- Apropiado para sistemas industrializados.
- Altas resistencias iniciales y finales.
- Resistencias superiores a las especificadas en la Norma NTE INEN 2380.
- Mejor trabajabilidad de las mezclas.
- Reduce la segregación y exudación.
- Reduce el calor de hidratación y por consiguiente la tendencia a la fisuración en grandes estructuras.
- Buen desempeño de fraguado y resistencia para la construcción de obras en general.
- Resistencia química moderada al agua del mar, difusión de cloruros y ataque de sulfatos, lo que aumenta su durabilidad.
- Ahorros significativos en el consumo de cemento por metro cúbico de concreto.
- Rápida puesta en uso de estructuras y vías de concreto.

Resultados y discusión

El análisis se realizó de forma cualitativa y cuantitativa, considerando los porcentajes de mayor a menor grado de utilización de los concretos de alta resistencia y celulares en la industria de la construcción, clasificados por sectores, como: vivienda, electricidad, gas/petróleo, salud y educación. Los valores fueron obtenidos de forma exploratoria a través de empresas constructoras locales y entrevistas.

Empresas:

Uribe & Schwarzkopf
 Sinohydro
 Refinería del Pacífico
 Construecuador
 Makiber
 Ferroinmobiliaria
 Municipio de Quito
 Colegio de Arquitectos
 Cámara de la Construcción

Tabla 1. Principales proyectos investigados en los sectores de estudio.

SECTORES	PROYECTOS	kg/cm ²
ELECTRICIDAD	COCA CODO SINCLAIR	590
	MANDURIACU	500
	TOACHI PILATÓN	490
	SOPLADORA	490
GAS / PETRO-LEO	MONTE CHORRILLO	490
	REFINERÍA ESMERALDAS	490
	REFINERÍA DEL PACÍFICO	490
VIVIENDA	TORRES DE ARAGÓN 3	280
	YOO QUITO	280
EDUCACIÓN	VILLAS PALERMO	240
	CIUDAD JARDÍN	240
	UNIVERSIDAD IKIAM ESCUELA DEL MILENIO 6 DE OCTUBRE	280 240
SALUD	HOSPITAL INTERNACIONAL	280
	HOSPITAL DE MACHALA	280

Las costumbres culturales e históricas, relacionadas con la actividad constructiva del país durante muchos años, han provocado el uso tradicional de los concretos convencionales (como muestra la tabla 1), en obras de educación, vivienda y salud, sin embargo, el avance de la sociedad, en sectores estratégicos anteriormente no desarrollados, como el gas/petróleo y electrici-

dad, en grandes proporciones, han propiciado el desarrollo y utilización de nuevos materiales de construcción, ya que sus magnitudes ameritan para garantizar mejor calidad y durabilidad de las obras. Además, las características climatológicas y naturales del Ecuador, hacen que los daños ocasionados a sus estructuras constructivas puedan ser de carácter mecánico y químico. “Esta clasificación se realiza tomando como referencia la principal influencia de las degradaciones en una estructura, sin embargo, es pertinente tener siempre presente que la relación entre los dos es muy íntima” [42, p. 15]. Por tanto, se considera que los mecanismos de degradación más complicados para el país, son los de carácter químico, debido no solo al comportamiento del concreto como material único, sino a la relación de este con el acero que lo refuerza y con las condiciones ambientales a que está sometido.

Como resultado de estos factores, en Ecuador se procesan en sus plantas hormigoneras productos con adiciones basadas en su desempeño, que minimizan el impacto ambiental y dan como resultado un uso más eficiente de las materias primas empleadas en su fabricación. Un ejemplo es el concreto de alta resistencia “HE por sus siglas en inglés el *“high early-strength”*, ideal para fabricar hormigones con altas resistencias mecánicas, edificar estructuras en zonas de alto riesgo sísmico, centrales hidroeléctricas (ver figura 6), pavimentos y obras de infraestructura en general” [43, p. 3].

Así es como, al analizar las características de elaboración de los concretos especiales (alta resistencia y celulares), los materiales para su elaboración y sus probados usos internacionales, demostraron las posibilidades de utilizar estos materiales en las obras de construcción que se ejecutan en Ecuador, diferenciando las de los sectores de vivienda, salud y educación, donde se recomienda el uso preferencial de los concretos celulares, teniendo en cuenta que poseen menos exigencias que las obras industriales de gran tamaño, mientras que para las edificaciones vinculadas a los sectores de electricidad, gas/petróleo y obras donde el desafío de diseño y altura ameriten se emplean los concretos de alta resistencia, considerando que estas instalaciones normalmente están sometidas a grandes esfuerzos y tensiones mecánicas, exigiéndoseles mayores resistencias, durabilidad y confiabilidad constructiva.



Figura 6. Instalaciones hidroeléctricas en Ecuador.

La adecuación de los concretos de alta resistencia a las edificaciones de gran altura se ha convertido mundialmente en un tema de uso inmediato, “ya que su rendimiento bajo grandes compresiones, determina reducciones notables de los elementos resistentes verticales, lo que lleva aparejado, mayor superficie útil del edificio, volúmenes de puesta en obra menores y pesos propios asimismo menores” [44, p. 6], que para el caso de Ecuador determinan ventajas claras y definidas para su uso futuro, tomando en consideración los requerimientos de confort y funcionalidad de las plantas superiores de los edificios de altura, frente a las demandas horizontales, así como el desarrollo constructivo previsto para el país en los próximos años.

No obstante, el empleo de concretos de alta resistencia en las piezas verticales de edificios de gran altura puede llevarse a cabo, “si el proceso de construcción y diseño del edificio es llevado a cabo en forma interactiva y adecuada, entre la ingeniería estructural y la arquitectura” [44, p. 9]. Cumpliendo este principio, muchos edificios en la actualidad superan los 300 m de altura como promedio en el mundo.

En Ecuador existe evidencia del uso de concretos especiales en la construcción de obras de infraestructura y de caminos urbanos, donde se han utilizado específicamente los concretos de alta resistencia, como se muestra a continuación [43, p. 9]:

Proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair: obras de captación, dovelas para recubrimiento de los túneles, concreto lanzado; Proyecto hidroeléctrico Toachi Pilatón, Túneles San Eduardo en Guayaquil, Complejo de Puentes de la Unidad Nacional, Aeropuertos de Santa Rosa, Tena y Lata-

cunga, carreteras de concreto rígido que construye el Cuerpo de Ingenieros del Ejército, entre otros.

A continuación, se exponen los proyectos más emblemáticos levantados en Ecuador de acuerdo a los kilogramos por centímetro cuadrado, basados en la necesidad de resistencia y utilización; que a pesar de no ser motivo de estudio se cree necesario mencionarlos. (Ver tabla 2).

Como se puede evidenciar, la mayor incidencia recae en la construcción de la pista del aeropuerto Mariscal Sucre en la ciudad de Quito, la cual está expuesta a cargas extremadamente altas al sufrir el impacto del aterrizaje de aviones de carga y de grandes envergaduras, proyecto que tuvo un seguimiento de calidad muy detallado, a cargo del laboratorio de la Universidad Católica del Ecuador. El ingeniero Guillermo Realpe, comentó que tenían controles muy seguidos del concreto y sus reacciones con el fraguado para poder garantizar los pesos que ahora soportan, adicionalmente, en dicha entrevista comentó que en Ecuador ninguna planta posee un laboratorio para garantizar este tipo de hormigones a ese nivel y, por ende, fueron realizados en un laboratorio externo calificado por las empresas extranjeras las que manejaban este gran proyecto, seguido por el puente del río Chiche, y el Metro de Quito.

Tabla 2. *Proyectos en Ecuador con hormigones de altos porcentajes*

SECTOR	PROYECTO	%
AEROPUERTO	AEROPUERTO MARISCAL SUCRE	750
PUENTE	PUENTE DEL CHICHE	650
METRO	METRO DE QUITO	550
HOTELERO	SWISS TOWERS - 190 m DE ALTURA. EL MÁS ALTO DE ECUADOR	380
PLATAFORMA	PLATAFORMA GUBERNAMENTAL FINANCIERA	380

También existe un proyecto hotelero a construirse en Guayaquil denominado Swiss Towers, el mismo que se convertirá en el más alto del Ecuador con diseño del arquitecto Christian Wiese y sus 190 metros de altura, el cual utilizará hormigón de 380 desafiando así mismo al diseño

con sus fachadas de vidrio revestidas con paneles de aluminio compuesto.

Los concretos de alta resistencia son muy utilizados para construir edificios altos, “reduciendo las secciones de columnas e incrementando el espacio disponible; superestructuras de puentes para mejorar la durabilidad de sus elementos, así como satisfacer las necesidades de aplicaciones especiales, como alta durabilidad, módulo de elasticidad y resistencia a la flexión” [45, p. 4]. Lo que ha fundamentado su uso en Ecuador, en obras de envergadura constructiva, en los sectores estratégicos de electricidad, gas/petróleo.

En la actualidad estas condiciones se cumplen y la decisión de su utilización se establece en relación con “aspectos relacionados muy diversamente con el edificio: tipología estructural, rapidez de ejecución, economía generalizada, entre otros; pero puede decirse que su utilización resulta muy competitiva en muchas ocasiones para la realización de los elementos verticales de las estructuras de altura” [44, p. 5], sin embargo, en Ecuador las edificaciones altas no abundan (ver tabla 4), principalmente, por regulaciones existentes, lo que ha motivado que la mayoría de las ciudades grandes, como Quito, con más de 2,3 millones de habitantes, se hayan desarrollado más bien hacia los sectores laterales y muy poco hacia las alturas, limitando la utilización de concretos especiales.

Sin embargo, las nuevas regulaciones y ordenanzas municipales en la ciudad de Quito [46, p. 4], para la óptima ocupación del suelo, ha abierto la posibilidad de crecimiento vertical. Bajo esta premisa, los arquitectos calificados en diseñar este tipo de edificaciones, han manifestado que “En el Ecuador se goza de mucha más libertad, las ciudades están por construirse, considerando por un lado control y precisión (cultura alemana); y por otro el espíritu de creación latinoamericano (cultura ecuatoriana)” [47, p. 2], con ello se prevé una nueva era de la construcción en altura con la utilización de concretos especiales, acompañada por el diseño, confort calidad y seguridad.

Se puede exponer el uso de concretos de alta resistencia muy utilizados en los sectores de electricidad y obras asociadas a su propio desarrollo, así como en obras del sector de gas/petróleo y otras, asociadas también a su propio desarrollo. (Ver tabla 3).

Tabla 3. Principales proyectos en el sector de electricidad, gas/petróleo

SECTORES	PROYECTOS	k g / cm2
ELECTRICIDAD	COCA CODO SINCLAIR	590
	TOACHI PILATON	490
	MANDURIACU	500
	SOPLADORA	490
GAS PETROLEO	MONTE CHORRILLO	490
	REFINERÍA ESMERALDAS	490
	REFINERÍA DEL PACÍFICO	490

En lo referente a los sectores de gas y petróleo, se utiliza el hormigón celular para el recubrimiento de la tubería como una medida de protección en las zonas inundables, pantanosas, en sitios o zonas rocosas y cruces de río a cielo abierto, así también se utiliza como aislamiento térmico cuando se debe controlar las pérdidas de calor en las tuberías encerradas, así lo expone el Ing. Luis Cabrera, ejecutivo de la refinería de Esmeraldas.

Para el hormigón celular no existe mayor demanda en el país, a más de la antes señalada y aquella que es requerida en proyectos acústicos o de salas de cine, por lo que su industrialización a nivel de hormigoneras es casi inexistente, así lo comenta el ingeniero Santiago Egas fabricante artesanal de hormigón, quien acota adicionalmente que “este material debería ser más utilizado en el Ecuador debido a sus características de resistencia y a la experiencia altamente positiva que tiene este hormigón en la construcción, en las esferas mundiales”.

Finalmente, basándose en la investigación realizada a las obras de infraestructura más importantes del Ecuador y los grandes proyectos, tanto públicos como privados en todo el territorio nacional, se puede afirmar que el concreto convencional es el más utilizado, más por su tradición y familiarización con este producto, antes que por sus propiedades, dejando de lado el empleo del hormigón celular que, por sus características, sería el más recomendado. Si bien es cierto el hormigón celular es más costoso, esto se debe a su bajo uso, pero de darse un alto consumo, su precio bajaría y competiría con el hormigón convencional, con mayores ventajas para el cliente.

Tabla 4. Usos de los concretos convencionales en educación, salud y vivienda, en Ecuador.

SECTORES	PROYECTOS	kg/cm2
VIVIENDA	Torres de Aragón 3	280
	Yoo Quito	280
	Villa Palermo	240
	Ciudad Jardín	240
EDUCACIÓN	Universidad Ikiam	280
	Escuela del Milenio 6 de Octubre	240
	Hospital Francisco de Orellana	280
SALUD	Hospital Internacional	280
	Hospital de Manta	280

En la tabla 4 se puede observar y analizar el uso del concreto convencional en las áreas de mayor crecimiento en el país como es la construcción de viviendas, de escuelas o unidades educativas, así como de instituciones de salud pública.

Tabla 5. Porcentajes de utilización de concretos de alta resistencia y concretos celulares en la industria de la construcción .

SECTORES	PROYECTOS	k g / cm2
ELECTRICIDAD	COCA CODO SINCLAIR	590
	MANDURIACU	500
	TOACHI PILATÓN	490
	SOPLADORA	490
GAS / PETRÓLEO	MONTE CHORRILLO	490
	REFINERÍA ESMERALDAS	490
	REFINERÍA DEL PACÍFICO	490
VIVIENDA	TORRES DE ARAGÓN 3	280
	YOO QUITO	280
EDUCACIÓN	UNIVERSIDAD IKIAM	280
SALUD	HOSPITAL FRANCISCO DE ORELLANA	280
	HOSPITAL INTERNACIONAL	280
	HOSPITAL DE MANTA	280
EDUCACIÓN	ESCUELA DEL MILENIO 6 DE OCTUBRE	240
VIVIENDA	VILLAS PALERMO	240
	CIUDAD JARDÍN	240

Nota: De mayor a menor los porcentajes de utilización de concretos de alta resistencia y concretos celulares en la industria de la construcción, clasificado por sectores: vivienda, electricidad, gas/petróleo, salud, educación.

Conclusiones

En Ecuador no existe demanda ni experiencia en el uso de los concretos especiales (alta resistencia y celulares), en obras que lo requieren, por su exigencia y rigor constructivo.

En el país los concretos de alta resistencia son utilizados únicamente en el sector de electricidad, como es el proyecto Coca Codo Sinclair, con el mayor porcentaje (590 kg/cm²), seguido por obras de gas y petróleo, como la rehabilitación de la Refinería de Esmeraldas y trabajos en la del Pacífico.

Respecto al uso de los concretos especiales en Ecuador, se comprobó que los sectores de electricidad y gas/petróleo son los que utilizan en mayor proporción los concretos de alta resistencia, mientras que los celulares no son utilizados y en su lugar se prefiere los convencionales, en sectores de vivienda, educación y salud, como se observa en la tabla 4.

Las regulaciones para realizar construcciones de grandes alturas, existentes en Ecuador, no permiten el uso de concretos de alta resistencia en los sectores de educación, salud y vivienda, puesto que la altura permitida hasta el momento no amerita por costos.

Con la salida del aeropuerto en Quito y el cambio de las reglamentaciones para las construcciones, existe la probabilidad de realizar edificios de mayor altura, lo cual permitirá la motivación de los arquitectos e ingenieros, para ejecutar diseños, que permitan utilizar hormigones de alta resistencia y celulares, aprovechando sus excelentes propiedades y usos constructivos, fundamentado en los aspectos siguientes, que considero importante señalar:

- Altas resistencias iniciales y finales.
- Excelente trabajabilidad de las mezclas.
- Reducción de la segregación y exudación, así como al calor de hidratación y por consiguiente la tendencia a la figuración en grandes estructuras.
- Buen desempeño de fraguado y resistencia para la construcción de obras en general.
- Resistencia química moderada al agua del mar, difusión de cloruros y ataque de sulfatos, lo que aumenta la durabilidad del concreto.
- Significativos ahorros en el consumo de cemento por metro cúbico de concreto y rápida utilización de las estructuras y vías de concreto.

Existe gran experiencia mundial, con el uso de los concretos celulares y de alta resistencia que, de aplicarse en Ecuador, siguiendo el ejemplo de algunos arquitectos que sueñan en el papel con rascacielos y modelos fuera de límites, disminuirían los costos de utilización con el incremento en la demanda de aplicación de estos concretos.

El escaso uso de los concretos celulares ha provocado que las empresas hormigoneras tengan poca demanda, como es el caso de la Holcim, una de las más grandes del Ecuador, que recibe muy pocas cotizaciones de este tipo de hormigón, y casi nunca para proyectos motivo del estudio como lo expresa el Ing. Nelson Chávez, gerente Comercial de Holcim.

El crecimiento de la demanda de viviendas en Ecuador y el apoyo gubernamental por medio de los créditos posibilita la utilización de los concretos celulares, lo que permitirá:

- Aprovechar las características térmicas de este tipo de concreto.
- Evaluar la posibilidad de utilizarlo como prefabricado pudiéndose adquirir en forma modular y progresiva.
- Disminuir los costos de construcción y ahorrar recursos energéticos.
- Posibilidad de emplear en sectores de salud, educación y vivienda, donde los valores de resistencia no superen los 450 kg/cm².

En los sectores de educación, salud y vivienda es muy utilizado el concreto convencional, debido a las razones siguientes:

- Tradición de uso y abundancia en el mercado nacional ocasionando un costo menor.
- Las principales edificaciones de estos sectores en Ecuador son relativamente bajas, con pocas cargas y tensiones en sus diseños constructivos.
- Se caracterizan por presentar valores promedio de densidad entre 2.200 y 2.500 kg/m³, resistencia a la compresión entre 100 - 500 kg/cm², tiempos de fraguado variable, alrededor de 2,5 horas promedio, resistencia a la tracción relativamente baja, inferiores a los valores promedio de los concretos de alta resistencia.
- Poseen una amplia utilización en las estructuras de concreto para cimentaciones, columnas, placas macizas y aligeradas, muros de contención, entre otros

usos, aplicados fundamentalmente en los sectores mencionados anteriormente.

Los sectores más propensos para el uso de los concretos especiales, son electricidad, gas/petró-

leo, así como otros, donde se exijan altas cargas, esfuerzos, durabilidad y elevada resistencia, por tanto, aplicables al programa de desarrollo que lleva a cabo actualmente Ecuador en cuanto a carreteras, plataformas gubernamentales, etc.

Bibliografía

- [1] A. A. Cervantes, «Nuevas tecnologías en concretos, concretos celulares -concreto reforzado con fibra- concreto ligero estructural», Congreso Nacional de Administración y Tecnología para la Arquitectura, Ingeniería y Diseño, Ciudad de México, 2008.
- [2] A. Barrios y M. Soriano, «Materiales sostenibles para la construcción», Unión Europea, Madrid, 2012.
- [3] <http://www.inecyc.org.ec>, 26 septiembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.inecyc.org.ec>. [Último acceso: 27 enero 2016].
- [4] A. Cervantes, «Nuevas tecnologías en concretos, concretos celulares -concreto reforzado con fibra- concreto ligero estructural», Congreso Nacional de Administración y Tecnología para la Arquitectura, Ingeniería y Diseño, Ciudad de México, 2008.
- [5] A. Ordóñez y H. Eguez, «Comportamiento del hormigón simple mezclado con polvo reactivo», Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2009.
- [6] A. Pullaguari, «Diseño de bloques en base a polietileno tereftalato (plástico reciclado)», Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2010.
- [7] D. Moreno, «Cemento ¿Oligopolítico? Industria próspera pero controversial», *Ekos*, pp. 22-33, 2012.
- [8] IMCYC, «Conceptos básicos del concreto», Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, México, 2013.
- [9] E. Rivva, «Naturaleza y materiales del concreto», Congreso de Estructuras y Construcción, Lima, 2000.
- [10] M. Ayala, «Concreto aireado para la vivienda de interés social» Facultad de Arquitectura de la UNAM, México, 1998.
- [11] INECYC, «Comercialización 2015», 26 septiembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.inecyc.org.ec/2015/09/26/comercializacion2015/>. [Último acceso: 27 Enero 2016].
- [12] J. Camposano, «Control de calidad en el hormigón», Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Concreto, Quito, 2009.
- [13] Cemex México, «<http://www.cemexmexico.com/>,» 22 febrero 2015. [En línea]. Available: <http://www.cemexmexico.com/>.
- [14] [14] E. Mejía y L. Pachacama, «Implementación de un sistema de calidad basado en la norma ISO 9001-2008 para una planta de producción de hormigón», Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, 2014.
- [15] L. Gutiérrez, «El concreto y otros materiales para la construcción», Universidad Nacional de Colombia, Manizales, 2003.
- [16] Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Proporcionamiento de mezclas: concreto normal, pesado, masivo, México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2004.
- [17] E. Ríos, «Empleo de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del agregado fino en la elaboración de concreto hidráulico», Universidad Veracruzana, Ciudad de México, 2013.
- [18] Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Concreto, «Breve historia de los aglomerantes», Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Concreto, INECYC, Quito, 2009.
- [19] El concreto en la obra, «Pruebas de resistencia a la compresión del concreto», Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, México, 2006.

- [20] Norma ASTM C31, «Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto para pruebas de compresión», Farmington Hills, Michigan, 2003.
- [21] Norma ASTM C39, «Método de prueba estándar para resistencia a compresión de probetas de hormigón cilíndricos», Farmington Hills, Michigan, 2006.
- [22] M. A. Céspedes, «Resistencia a la compresión del concreto a partir de la velocidad de pulsos de ultrasonido», Universidad de Piura, Lima, 2003.
- [23] G. Wargo y M. Russell, ACI Manual of concrete Inspection, Michigan: Farmington Hills, 2007.
- [24] J. Camposano, «Control de calidad en el hormigón», Instituto Ecuatoriano del Concreto y del Cemento (INECYC), Quito, 2009.
- [25] M. A. Gabalec, «Tiempo de fraguado del hormigón», Universidad Tecnológica Nacional, La Plata, 2008.
- [26] ASTM Designation: C 403/C 403M – 99, «Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance», Farmington Hills, Michigan, 2005.
- [27] J. Lamond y J. Pielert, «Significace of tests and properties of concrete and concrete making materials», ASTM Internacional, West Conshobockeen, 2006.
- [28] Ordenanza 3457, «Ordenanza 3457», Concejo Metropolitano de Quito, Quito, 2003.
- [29] Normas de Arquitectura y Urbanismo para DMO, «Normas de Arquitectura y Urbanismo para DMO», Código Ecuatoriano de Construcción, Quito, 2005.
- [30] M. Soriano, «Materiales sostenibles para la construcción», Unión Europea, Madrid, 2012.
- [31] www.likahormigon.com.ar/, «<http://www.likahormigon.com.ar/>» 23 Diciembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.likahormigon.com.ar/>.
- [32] E. L. Mejía, «Utilización de hormigón celular como base y subbase en la construcción de carreteras», Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, 2010.
- [33] J. L. Ramírez, «La múltiple identidad del concreto», *Construcción y Tecnología*, pp. 115-123, 1999.
- [34] Structural Lightweight Concrete, «Structural Lightweight Concrete», Expanded Shale, Clay, and Slate Institute, Washington, 2015.
- [35] L. Valdez, G. Suárez y G. Proaño, «Hormigones livianos», Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2013.
- [36] F. Bustamante, F. González y L. Rocha, «Concretos de alta resistencia», *Construcción y Tecnología*, pp. 44 - 56, 2000.
- [37] L. C. Rocha, «Concretos especiales en la construcción. Concreto de alta resistencia», Universidad Autónoma Metropolitana, México, 2009.
- [38] Holcim Premium, «Cemento hidráulico Tipo HE de alta resistencia inicial», Holcim, Quito, 2015.
- [39] P. Mehta, «Concreto: estructura, propiedades y materiales,» Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, México, 1998.
- [40] M. López y L. Kahn, «Hormigón liviano de alto desempeño - una comparación entre pérdidas de pretensado reales y estimadas por los códigos de diseño», *Ingeniería de Construcción*, pp. 59 - 69, 2006.
- [41] Holcim, «Cemento hidráulico Tipo HE de alta resistencia inicial», Holcim Hormigones S.A., Quito, 2015.
- [42] J. C. Bernal, «Durabilidad en estructuras de concreto armado, localizadas frente a la costa», Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2009.
- [43] Holcim, «Ficha Técnica de Hormigón», Holcim Hormigones S.A., Quito, 2015.
- [44] C. J. Martínez, «Hormigones de alta resistencia en la edificación de gran altura», Hormigón y Acero, Madrid, 2003.
- [45] N. Gamica, S. Jorge y J. Flores, «Control de calidad en obras para hormigones de alto desempeño», Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2009.
- [46] Ordenanza Metropolitana, «Ordenanza Metropolitana del Concejo Metropolitano de Quito,» Comisión de Suelo y Ordenamiento Territorial, Quito, 2013.
- [47] C. Wiese, Interviewee, *Arquitectura moderna en Ecuador*. [Entrevista]. 2 abril 2012.